开放系统状态的收敛表达式

赵峰

[1]（南阳仲水环保技术应用中心　南阳市　473000）

摘　要　本文采用数学分析的方法，以开放系统为研究对象，分析系统的衰变性，通过对有机物降解过程的分析，推导有机物降解的状态模型，得出的结论是，在一定边界条件下，开放系统的内在状态具有级数收敛衡定的性质，可以构建一种表达系统内在状态的模式，通过系统状态模式，用系统的表达方式阐述力的概念，力是系统边界条件变化产生的干扰。这种用模型形式来表达开放系统状态的方法，把复杂的非线性问题简化为相对简单的线性问题，形成了开展系统科学研究的新思路。

关键词　系统科学；状态模式；衡敛系统；收敛级数

关键词　中图分类号　N94-0　　　　文献标识码　A

The convergence expression of the open system state

Zhao Feng

(*Nanyang Zhongshui Enrironmental Protection Technology Application Center , Nanyang, Henan, 473000，China*)

【**Abstract** 】In this paper by mathematical analysis, An open system as the research object, Analysis of the decay of the system state, By analyzing the process of organic matter degradation, Derived organic matter degradation state model, Concluded that: Certain boundary conditions, Internal state of the system has a constant convergent series nature , The internal state of the system can be established expression patterns, Expression through the system state, described the concept of force, force is the interference generated by the boundary conditions change. Model expressed by the state of open systems approach , The complex nonlinear problem is reduced to relatively simple linear problem, the formation of a new idea to carry out systematic scientific research..

【Key words】System science; state model; Constant Convergence System; convergent series

0　引言

自牛顿时代以来科学领域以线性的、还原论的思维模式为主，现实世界是复杂的，随着时代的进步和科学的发展，涌现了一般系统论[1]、复杂性科学[2]等一系列新兴思维模式和理论，虽然耗散结构理论[3]提供了对开放系统远离平衡态的状态描绘，但是并没有能够进一步提供系统状态模式，在控制理论方面，系统工程从工程应用的角度提供了状态及输入、输出模型的工程方法[4]，但是这种基于输入-输出关系传递函数的表达方式，主要是从状态的外部进行描述，仍缺乏对于系统内在状态工作机制的表达。本文目的是推导能够表达开放系统状态的模式，采用的方法是以衰变的开放系统为对象，具体是通过对有机物降解过程的分析，得出开放系统的内在状态属性及状态模式。衰变是一个可量化的概念，因此，由本文所形成的系统内在状态表达模式具有基础性和实用性，对于系统科学、复杂性理论、控制理论、系统工程等领域的研究是一个有益的补充和拓展。

1　方法和假设

1.1 设定对象

1、　原则上以具有衰变性的系统为推导对象；

2、　文中主要以具有衰减特性的有机物作为对象，具体以有机物降解过程的质量为状态主体对象，以质量的衰减变化为研究内容，进行系统状态模式的推导。

1.2 基本方法

1、 确定系统状态推导的基本假设；

2、 进行边界条件约束，采取数学推导的方法，从基本假设出发，通过逻辑性的数学与物理分析开展分析和推导；

3、 对所得开放系统状态模式进一步分析。

1.3 基本假设

1、 遵循物质的质量守恒律；

2、 在理想条件下，有机物最终可完全降解为小分子。

1.4 对系统的基本约束

1、具有物质与能量（或其他数据）输入-输出的系统；

2、确定系统的内在状态对象及边界条件，建模时：以系统物质的质量为内在状态对象，相对于状态对象以外的输入、环境因素、其他条件等都作为边界条件。

3、进行分析的状态对象具有衰减性。

2 有机物降解过程的状态建模

2.1 状态对象的相关概念

有机物即有机化合物，通常是对碳化合物、碳氢化合物及其衍生物的总称。与无机物相比，有机物的热稳定性比较差，除少数有机物外，一般都能燃烧，受热容易分解。有机物一般难溶于水，有机物的反应相对复杂，反应速度一般比较缓慢。由于有机物的反应过程缓慢，具有宏观上的可观性和可测性，相对于无机物分子，更加有利于过程分析及状态的研究，因此把有机物作为推导状态模式的对象。

除少数低分子有机物外，有机物一般拥有多个碳原子，在热、光、化学试剂、微生物等外部因素的作用下，有机物由相对的高分子分解为小分子，碳原子数量减少，分子量降低。这里把有机物的降解过程看成是有机物由高分子分解为小分子的过程。

在一定边界条件下，根据有机物降解速率的快慢，把降解速率快的有机物称为易（可）降解有机物，把降解速率慢的有机物称为难降解有机物。

2.2 有机物降解过程状态模式的推导

2.2.1 相关的基本参数和概念

设：有机物在一个理想的容器中进行降解，未降解的有机物存在于容器中，已降解的有机物排出容器。容器中的有机物，单位时间输入有机物的初始质量为M_0，未降解的有机物质量为M，已降解的有机物质量为$M^/$。

根据假设条件，在理想条件下，有机物最终完全降解。系统中有机物的质量遵循物质质量的守恒律：

初始时：$M = M_0, M^/ = 0$

至中间过程n时：

$$M_0 = M_n + M_n^/ \quad (1)$$

式中：

M_n——初始有机物M_0经过n时，剩余未降解有机物的质量；

$M_n^/$——初始有机物M_0经过n时，已经降解有机物的质量；

从有机物降解速率的区别，把有机物分成易（可）降解和难降解两部分，对于易降解有机物与难降解有机物分界时间点的界定，设在有机物降解过程中的某一时间点λ，有机物中已经完成降解且比衰减速率趋于零的成分是易降解有机物，相对而言在该时间点λ仍未降解的有机物成分是难降解有机物，λ是一个相对于难衰变与易衰变的相对值。理想条件下，难降解有机物最终也可完全降解。

λ ——分界时间，区别易降解有机物与难降解有机物的时间点；

$$M_0 = M_0^+ + M_0^- \quad (2)$$

式中：M_0^+——初始有机物中难降解成分的质量；

M_0^-——初始有机物中易（可）降解成分的质量；

$$M_n = M_n^+ + M_n^- \tag{3}$$

式中：

M_n^-——初始有机物M_0经过 n 时降解后，有机物中可降解成分的质量；

M_n^+——初始有机物M_0经过 n 时降解后，有机物中难降解成分的质量；

把式（3）代人式（1），得：

$$M_0 = M_n^+ + M_n^- + M_n^{/} \tag{4}$$

有机物降解的质量比衰减速率：

$$v = -\frac{1}{M_0}\cdot\frac{dM}{dt} \tag{5}$$

$$v^- = -\frac{1}{M_0^-}\cdot\frac{dM^-}{dt} \tag{6}$$

$$v^+ = -\frac{1}{M_0^+}\cdot\frac{dM^+}{dt} \tag{7}$$

式中：

v ——有机物降解质量的比衰减速率；

v^- ——易（可）降解有机物质量的比衰减速率；

v^+ ——难降解有机物质量的比衰减速率；

$\frac{dM}{dt}$——有机物质量衰减速率；因 $\frac{dM}{dt}=\frac{M_n - M_{n-1}}{dt}<0$，$v>0$，故（2）式为负号；

$\frac{dM^-}{dt}$——易降解有机物质量的衰减速率；因 $\frac{dM^-}{dt}=\frac{M_n^- - M_{n-1}^-}{dt}<0$，$v^->0$，故（3）式为负号；

$\frac{dM^+}{dt}$——难降解有机物质量的衰减速率；

因 $\frac{dM^+}{dt}=\frac{M_n^+ - M_{n-1}^+}{dt}<0$，$v^+>0$，故（4）式为负号；

dt——有机物衰减单位时间；

比衰减速率的无穷级数判敛：

$$\sum_{n=1}^{\infty} v_n = \sum_{n=1}^{\infty}\left(-\frac{1}{M_0}\cdot\frac{dM_n}{dt}\right) = -\frac{1}{M_0}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{dM_n}{dt} \tag{8}$$

因 dt 为一个单位时间，数值为 1，则：

$$\sum_{n=1}^{\infty}\frac{dM_n}{dt} = \sum_{n=1}^{\infty} dM_n = -M_0\text{；}$$

故：$\sum_{n=1}^{\infty} v_n = -\frac{1}{M_0}\cdot\sum_{n=1}^{\infty}\frac{dM_n}{dt}=1$，　$\sum_{n=1}^{\infty} v_n$ 收敛；

同理：

$\sum_{n=1}^{\infty} v_n^- =1$，$\sum_{n=1}^{\infty} v_n^-$ 收敛；

$\sum_{n=1}^{\infty} v_n^+ =1$，$\sum_{n=1}^{\infty} v_n^+$ 收敛；

以上分析中所述的难降解有机物，是相对于易降解有机物而言的，本来不需要分析它的衰减，由于在基本假设条件中，有机物最终都会完全降解为小分子，因此，这里把难降解有机物的衰减速率也从理论的角度进行了表示。

2.2.2 单次输入情况下的状态分析

有机物降解过程衰减的程度是累积的数值：

$$Sv_n = v_1 + v_2 + \cdots\cdots + v_n \tag{9}$$

$$Sv_n^- = v_1^- + v_2^- + \cdots\cdots + v_n^- \tag{10}$$

$$Sv_n^+ = v_1^+ + v_2^+ + \cdots\cdots + v_n^+ \tag{11}$$

式中：

Sv_n——衰减程度，有机物质量 n 单位时间的比衰变速率之和；

Sv_n^-——易（可）降解有机物质量 n 单位时间的衰减程度；

Sv_n^+——难降解有机物质量 n 单位时间的衰减程度；

由此得 n 时已降解有机物的质量：

$$M_n^{/} = M_0\cdot Sv_n \tag{12}$$

将（12）代人（1），得初始有机物M_0经过n时，剩余未降解有机物的质量：

$$M_n = M_0 \cdot \left(1 - Sv_n\right) \tag{13}$$

同理：

$$M_n^+ = M_0^+\left(1 - Sv_n^+\right) \tag{14}$$

$$M_n^- = M_0^-\left(1 - Sv_n^-\right) \tag{15}$$

把（14）（15）代人（3）,得：

$$M_n = M_0^+\left(1 - Sv_n^+\right) + M_0^-\left(1 - Sv_n^-\right) \tag{16}$$

由于不考虑难降解有机物的衰减性，因此（14）没有实际意义，即Sv_n^+=0，则（16）式为：

$$M_n = M_0^+ + M_0^-\left(1 - Sv_n^-\right)$$

由（12）（13）得，衰减程度Sv_n大，则已降解有机物（已衰减）$M_n^{/}$大，剩余有机物（未衰减）M_n小；反之，Sv_n小，则$M_n^{/}$小，M_n大。

2.2.3 连续输入情况下的状态分析

概念设定：数学中 S 代表和函数，而 0 则是一个闭合的圆圈，代表一个有界的条件，表示存在极限，因此，将 S 与 0 结合在一起，构成符号$\circledS$，表示有极限的和函数。

依据质量守恒律，输入的有机物质量的总量：

$$\circledS_n = S_n + S_n^{/} \tag{17}$$

$\circledS_n$ ——连续输入n单位时间的有机物输入总量；

S_n——状态存在值（量），此处表示有机物经过n单位时间，容器中未降解有机物的质量；

$S_n^{/}$——状态输出值（量），此处表示有机物经过n单位时间降解，已降解有机物的质量；

在理想条件下，向容器中连续输入有机物进行降解，单次输入有机物质量恒定为M_0。

经过n时输入的有机物质量为：

$$\circledS_n = n \cdot M_0 \tag{18}$$

把（2）代人（18）得：

$$\circledS_n = n \cdot \left(M_0^+ + M_0^-\right) \tag{19}$$

根据式（3），未降解有机物由已降解有机物与难降解有机物组成，则：

$$S_n = S_n^+ + S_n^- \tag{20}$$

S_n^+——有机物经过n单位时间降解，容器中难降解有机物的质量；

S_n^-——有机物经过n单位时间降解，容器中未降解的易（可）降解有机物的质量；

设在理想条件下，不考虑输入条件变化的影响，边界条件一定，则单批次输入时有机物降解的质量比衰减速率v，v^-，v^+与连续输入时对应的各批次有机物降解的质量比衰减速率v，v^-，v^+相同。

$$S_n^- = M_1^- + M_2^- + \cdots\cdots + M_n^- \tag{21}$$

$$S_n^+ = M_1^+ + M_2^+ + \cdots\cdots + M_n^+ \tag{22}$$

设理想条件下根据式（2），M_0^+确定，当Sv_n^+=0 时，$M_n^+ = M_0^+$，代人式（22），得：

$$S_n^+ = n\,M_0^+ \tag{23}$$

对于易（可）降解有机物来说，由（15）式$M_n^- = M_0^-\left(1 - Sv_n^-\right)$；

当$n = \lambda$，易降解有机物充分降解衰减，$Sv_\lambda^- = 1$；

$$S_\lambda^- = M_1^- + M_2^- + \cdots\cdots + M_\lambda^-$$

$$=M_0^-\left(1-Sv_1^-\right)+M_0^-\left(1-Sv_2^-\right)+\cdots\cdots+M_0^-\left(1-Sv_\lambda^-\right) \quad (24)$$

S_λ^-——连续输入有机物至分界时间 λ，容器中未降解的易（可）降解有机物的质量；

$Sv_\lambda^-=1$，$\lim_{n\to\infty} Sv_n^-=Sv_\lambda^-$，即 $\lim_{n\to\infty} S_n^-=S_\lambda^-$；那么，根据无穷级数收敛定义，$\sum_{n=1}^{\infty} M_n^-$ 收敛；

则：$\sum_{n=1}^{\infty} M_n^-=S_\lambda^-$ （25）

在相应边界条件下，S_λ^- 是一个衡定值，因此，收敛值 $\sum_{n=1}^{\infty} M_n^-$ 也是一个衡定值，这里用符号 *O* 来表示 S_λ^-，将具有收敛级数衡定性的 *O* 称为衡敛值。

设 $\alpha=S_n^-\Big/\sum_{n=1}^{\infty} M_n^-=\dfrac{S_n^-}{S_\lambda^-}$； 则：

$$S_n^-=\alpha \cdot S_\lambda^-= \alpha\cdot O \quad (26)$$

式中：α——收敛系数；

把（23）（26）代人（20），得出该系统存在状态值的表达式：

$$S_n=n\cdot M_0^+ +\alpha\cdot O \quad (27)$$

把（27）代人（17）得：

$$\circledS_n=S_n+S_n^{/}=n\cdot M_0^+ +\alpha\cdot O+S_n^{/} \quad (28)$$

把（2）代人（18）得：

$$\circledS_n=n\cdot\left(M_0^+ +M_0^-\right) \quad (29)$$

把（28）代人（29）得系统输出状态值的表达式：

$$S_n^{/}=\circledS_n-S_n=n\cdot M_0^- -\alpha\cdot O \quad (30)$$

由于（26）（30）式中 *n* 代表 n 个单位时间，而单位时间可以无限小，因此，也可以把式中的 *n* 替换为时间 *t*，即：

$$S_t=t\cdot M_0^+ +\alpha\cdot O \quad (31)$$

$$S_t^{/}=t\cdot M_0^- -\alpha\cdot O \quad (32)$$

将系统存在状态值表达式称为系统的衡敛状态方程或衡敛状态表达式，将系统输出状态值表达式称为系统衡敛输出方程或衡敛输出表达式。

单次输入相当于停止了连续输入，是连续输入的特例。

单次输入情况下的状态模式：

$$S_n=M_0\cdot(1-Sv_n) \quad (33)$$

$$S_n^{/}=M_0\cdot Sv_n \quad (34)$$

2.2.4 连续输入过程停止情况下的状态

在连续输入情况下，如果中间过程中输入停止，则可以把输入时间段看做一个单次输入，但是，由于在这个输入的过程中，输入总量存在衰减流失，因此，连续输入过程停止情况下的输入量相当于输入停止时间的状态存在值。

设系统在连续输入至 t 时停止输入，则 S_t 相当于 M_0，那么停止输入后经过 n 时的状态模式，将（31）代人（33）（34）：

$$S_n=(t\cdot M_0^+ +\alpha\cdot O)\cdot(1-Sv_n) \quad (35)$$

$$S_n^{/}=(t\cdot M_0^+ +\alpha\cdot O)\cdot Sv_n \quad (36)$$

3 结果

根据质量（能量）的守恒性，系统总值是保留在系统中存在的状态值与已输出系统的状态值之和，即：

$\circledS_n=S_n+S_n^{/}$ 。

系统总值 $\circledS_n$ 为：

$$\circledS_n=n\cdot M_0^+ +\alpha\cdot O+S_n^{/}$$

由以上对有机物降解过程的推导中得到：

连续输入情况下的状态表达式：

衡敛存在状态表达式：

$$S_n=n\cdot M_0^+ +\alpha\cdot O$$

或 $S_t = t \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O$

衡敛输出状态表达式：

$$S_n^/ = n \cdot M_0^- - \alpha \cdot O$$

或 $S_t^/ = t \cdot M_0^- - \alpha \cdot O$

单次输入相当于停止了连续输入，是连续输入的特例，单次输入情况下的状态模式：

$$S_n = M_0 \cdot (1 - Sv_n)$$

$$S_n^/ = M_0 \cdot Sv_n$$

连续输入过程停止的状态模式：

$$S_n = (t \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O) \cdot (1 - Sv_n)$$

$$S_n^/ = (t \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O) \cdot Sv_n$$

4 应用示例

有机物降解动力学的关系式一般依据 Monod 关系式[5]，当采用级数收敛的有机物降解状态表达式，能够简化并解决一些应用问题，如下例。

化粪池是基本的生活污水及污泥处理设施，污泥是化粪池的累积物。国家建筑标准设计图集中，化粪池的污泥容积计算模型[6]是相对于时间的线性关系，不能客观反映化粪池的容积，虽然通过污泥缩减系数进行修正，但是包含修正系数的数学模型也是时间的线性计算关系。我国化粪池的设计清掏周期一般为 90 天、180 天、360 天，对于超出 360 天的化粪池污泥容积计算的适用公式并未见到相关说明。在化粪池的实际应用中，清掏周期多数都超过设计清掏周期，有的甚至是十倍以上的污泥停留时间，这可能就存在计算偏差的影响。

采用现行的化粪池污泥计算模式的不利影响是：

1、 污泥清掏周期短，持续产生清掏费用，浪费大量的物力、财力；

2、 产生大量的清掏污泥，污泥有进一步处理处置的需求，存在二次污染的隐患；

3、 不能评估清掏超期情况下的风险，不利于管理；

利用有机物降解的状态表达式 $S_n = n \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O$，可简化化粪池污泥的计算，在一定边界条件下，化粪池污泥 M_0^+ 和 $\alpha \cdot O$ 的数据是可以通过实验及计算得到的，在该模式下，$\alpha \cdot O$ 是一个恒定值，$n \cdot M_0^+$ 是时间的线性函数。通过该状态模式的数学计算，可以近似求得化粪池中不同污泥停留时间的污泥容积，建立污泥腐化期以外更长时间内污泥清掏周期的数据关系，为化粪池设计应用提供更加全面的技术支持。

5 讨论

5.1 衡敛状态方程的适用范围

以上的推导虽然是以有机物降解为主体对象，但却是以具有衰变性的系统为基础对象，凡是满足具有衰变性的开放系统都同样具有收敛级数衡定（衡敛）的属性，现实系统都具有边界条件，由于系统中只要存在输入-输出状态，就会存在变量，只要有输出，就存在相应的衰减，这些都符合开放系统的概念，因此，可以把具有衡敛性的开放系统看成是衡敛系统，建立衡敛状态方程。

从现实中看，无机物中元素具有衰变性，无机物属于衡敛系统；复杂的生命系统主要由有机物构成，有机物存在衰变，生命系统也是衡敛系统；甚至在一些无量纲的具有数据流或信息流的系统中，只要存在衰变成分，可以通过进行边界条件约束的路径构成衡敛系统。

系统的衡敛方程是建立在一个特定的主体对象的基础上，因此可以根据系统需要分别针对：质量、能量、动量、速度、数量、温度、压强方面等建立状态衡敛表达模式。这样的衡敛状态模式是建立在单一衰减对象的基础上，针对多衰减对象的衡敛方程，需要在单一衰减衡敛方程的基础上进行衡敛结构分析以及状态空间分析。

总之，衡敛状态方程是一种适用于开放系统定量研究模式。

5.2 系统边界条件的干扰

目标对象的状态受边界条件约束，以有机物的状态看，受到输入条件、时间、容器条件、温度、气压、PH 值、假设、外部环境条件等多方面的作用。当边界条件变化时，即对系统的基本状态产生了干扰，系统状态的输出即发生变化，因此，可用 F_b表示边界条件对系统基本状态的作用。

衡敛系统的状态表达式则表示为：

$$S_n = F_b : (n \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O)$$

$$\text{或} \quad S_t = F_b : (t \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O) \qquad (37)$$

$$S_n^/ = F_b : (n \cdot M_0^- - \alpha \cdot O)$$

$$\text{或} \quad S_t^/ = F_b : (t \cdot M_0^- - \alpha \cdot O) \qquad (38)$$

F_b——干扰作用力，边界条件对系统基本状态的干扰。

这里用“：”作为表示边界条件对系统作用相对关系的符号。（暂时以该方式表示）

对于系统的基态，$F_b = 1$，由于同一状态中的$n \cdot M_0^+$和$\alpha \cdot O$的稳定性不同，受到F_b干扰所产生的影响也不同，需具体分析。式（37）表示边界扰动作用对系统的衡敛值和累积叠加值的干扰，式（38）表示边界扰动作用分别对系统衡敛值和输出分解叠加值的干扰。

F_b的作用是相对于系统基本状态的变量干扰，变量干扰的输入影响了状态的输出，这类解析方法可称为系统边界条件差值干扰法或变量干扰法。

对于开放系统而言，系统状态具有基本的输入和边界条件，输入本身也可以看做是系统的一项特殊边界条件。系统所受到的干扰是一种对系统的作用，从物理学中力的定义看，力是物体间的相互作用，因此，可以把边界条件的干扰作用看成是一种对系统状态干扰的作用力。F_b反映在输入变量和边界条件变量两方面。

5.3 衡敛系统的意义

在对开放系统研究中，从复杂性科学的角度，虽然复杂性科学的研究提供了若干概念（系统、信息、反馈、组织、自组织等）和方法论思想（对还原论的质疑和超越）[7]，但是，对于开放的复杂巨系统目前还没有形成从微观到宏观的理论，没有从子系统相互作用出发，构筑出来的统计力学理论[8]。复杂性科学的研究需要找到一条能够进行有效表达的路径。

从衡敛系统的状态模式中看到，衡敛方程是由具有稳定性的常数项和具有衡定收敛级数的衡敛值构成，从数学的角度，这样的模型具有的优势在于，一方面可以把复杂的非线性问题以线性方程的模式表达，实现方程式和量化的表达，也简化了复杂性系统问题的解析；另一方面，衡敛系统的状态适用于收敛级数的性质，利用收敛级数的性质，可以进一步展开系统结构等方面的分析和计算。

之前，我们总是以开放系统的形式进行表述，开放系统只是一个定性的概念，相对模糊，不能进行应用，而以衡敛系统的形式表达开放系统，就能够通过定量和方程解析的形式把开放系统变成一个可控的系统对象，实现用系统模型来表达开放系统。衡敛系统的状态模式为研究系统科学提供了一条新路径。

5.4 不足和期望

系统衡敛表达式为系统研究提供了一个工具，虽然可以有效解决部分问题，但是，系统问题涉及内容很广，具有复杂性，基于状态衡敛模式的相关研究只是初始阶段，相关理论的研究还不够，面对复杂对象和应用的拓展，尚需进行更多的理论性研究和完善。在上面的推导和讨论中，主要给出了系统衡敛性及状态表达式，但是涉及系统的状态结构、边界条件干扰解析、状态空间解析、状态关系、无量纲模式等方面的研究尚不足，希望以后能够逐步构筑系统研究的基础内容，逐步完善。

6 结论

本文给出开放系统具有衡敛的状态属性，得出以下的结论。

（1） 衡敛状态是一种表达开放系统状态的模式，在一定条件下，开放系统为衡敛系统，衡敛系统状态具有级数收敛衡定的属性，衡定的收敛级数值为系统衡敛值。

（2） 对于具有某一衰减性的衡敛系统，连续输入时的基本状态模式为：

衡敛存在状态表达式：

$$S_n = n \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O$$

或$S_t = t \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O$

衡敛输出状态表达式：

$$S_n^/ = n \cdot M_0^- - \alpha \cdot O$$

或 $S_t^/ = t \cdot M_0^- - \alpha \cdot O$

连续输入过程停止情况下的状态表达式：

S_n =（$t \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O$）·（$1 - Sv_n$）

$S_n^/$ =（$t \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O$）·$Sv_n$

单一输入相当于连续输入过程的停止，是连续输入模式的特例。

（3） 对于衡敛系统而言，力是对系统状态的干扰，主要体现在边界条件（包括输入条件）变化对状态所产生的影响。

基于边界条件影响的衡敛系统状态表达式为：

$S_n = F_b$：（$n \cdot M_0^+ + \alpha \cdot O$）

$S_n^/ = F_b$：（$n \cdot M_0^- - \alpha \cdot O$）

衡敛状态模式中的基本干扰作用$F_b = 1$，表示系统处于不受干扰的状态。

参考文献[参考资料]

[1] 冯.贝塔朗菲， 一般系统论[M]， 林康义译，北京：清华大学出版社，1987.2

[2] 米.沃尔德罗普，复杂-诞生于秩序与混沌边缘的科学[M]，陈玲译，北京： 三联书店出版，1997.4

[3] 伊.普利高津，伊.斯唐热， 从混沌到有序[M]，曾庆洪、沈小峰译，上海：上海译文出版社， 1987

[4] 钱学森等， 论系统工程（新世纪版）[M]， 上海： 上海交通大学出版社， 2007.1

[5] 张自杰，排水工程（下册）[M]， 中国建筑工业出版社， 1987

[6] 国家建筑标准设计图集 03S702[S]， 中国建筑标准设计研究院编制，中国计划出版社，2006.4

[7] 苗东升. 复杂性研究的现状与展望[J].系统辩证学学报.2001 年 04 期

[8]钱学森.于景元.戴汝为.一个科学新领域——开放的复杂巨系统及其方法论.自然杂志.1990 年第 1 期

1 作者简介

作者：赵峰(1970－),男,工程师,主要研究领域：系统科学，环境科学。